

## **ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE REFRIGERAR EL HABITACULO DE UN VEHICULO UTILIZANDO EL CALOR DE ESCAPE.**

Ing. Nelson Cotella, Ing. Sergio Antonelli, Ing. Juan Monge

LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS E HIDRAULICAS  
FACULTAD DE INGENIERIA -  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO  
5800 - RUTA NACIONAL 36 Km. 601 - RIO CUARTO - CBA. - ARGENTINA  
FAX 54 58 676246 email [ncotella@ing.unrc.edu.ar](mailto:ncotella@ing.unrc.edu.ar)

### **RESUMEN**

El presente trabajo estudia la factibilidad de utilizar la energía térmica provista por los gases de escape de los motores de combustión interna alternativos de aplicación en automóviles, como fuente de calor de un ciclo frigorífico de absorción destinado al acondicionamiento del habitáculo del vehículo.

Con esta propuesta se lograría simultáneamente una mejora en el rendimiento global del sistema motor – vehículo y una disminución en la contaminación producida por el mismo.

Para ello se realizaron estudios teóricos y mediciones de campo a fin de determinar la cantidad de calor cedida en el escape en las distintas condiciones de uso.

Mediante un relevamiento bibliográfico se analizaron los distintos ciclos de absorción para producción de frío y sus performances a fin de determinar el óptimo para esta aplicación.

Se concluye que el sistema es viable, para solicitaciones externas extremas y velocidades de marcha del vehículo superiores a los 90 Km/h.

### **INTRODUCCION**

Los motores de combustión interna, ceden en su sistema de escape aproximadamente un tercio de la energía provista por el combustible, en otros palabras, se pierde tanta energía por el escape como la convertida en trabajo útil. (Kite 1984, Giacosa 1988).

Los vehículos automotores no escapan a esta consideración, la que toma preponderancia por las condiciones de carga variable que se manifiestan en la marcha del móvil.

Esta energía es factible de ser utilizada como fuente de calor de un ciclo frigorífico por absorción con destino al acondicionamiento del habitáculo. (Alhussein 1993).

Para estudiar la posibilidad de su implementación es fundamental la determinación de la cantidad de calor cedida conjuntamente con los gases de escape en los automotores, parámetro este que determinara el rango de utilización y su posibilidad de aprovechamiento como fuente de calor de un ciclo frigorífico de absorción.

### **DESARROLLO**

La cantidad de calor provista por el motor de un vehículo en particular, depende de las características del mismo y de las solicitaciones del motor. Dichas solicitaciones responden a condiciones externas de utilización, destacando entre otras a la velocidad de desplazamiento del automotor.

Para determinar experimentalmente la cantidad de calor cedida en el escape en función de la velocidad de desplazamiento se realizaron ensayos sobre dos automóviles fabricados en la Argentina, uno con motor ciclo Otto (Renault modelo 21 Nevada) y otro con motor ciclo Diesel (Fiat modelo Duna SD 1.3). La elección recayó sobre estos vehículos considerárselos representativos del parque automotor actual.

El Renault modelo 21 Nevada, equipado con un motor de 2,2 litros de desplazamiento, define un automóvil mediano grande con un confort que hace imprescindible el acondicionamiento de aire de su habitáculo.

El Fiat Duna equipado con un motor diesel de 1,3 litros de desplazamiento, representa la elección de un segmento del mercado que opta por automóviles medianos equipados con motor diesel.

### **Nota Técnica**

## DATOS TECNICOS DE LOS VEHÍCULOS ENSAYADOS

- RENAULT MODELO 21 NEVADA

Motor 2,2 litros ciclo Otto  
Alimentación: Carburador  
Encendido: Electrónico  
Potencia max. 86 KW @ 5500 RPM  
Cupla max. 182,6 Nm @ 3000 RPM  
Carrocería: tipo Break Familiar 5 puertas  
Peso en orden de marcha: 1315 Kg.

- FIAT MODELO DUNA

Motor 1,3 litros ciclo Diesel  
Alimentación: inyección mecánica, bomba Bosch Rotativa  
Potencia max. 33,1 KW @ 5000 RPM  
Cupla max. 71,5 Nm @ 3000 RPM  
Carrocería: Sedan 4 puertas  
Peso en orden de marcha: 1150 Kg.

En ambos casos citamos datos declarados por el fabricante.

## ENSAYOS

Con el objeto de determinar la cantidad de calor cedida en el escape, se realizaron mediciones de temperatura de los gases de escape y masa de gases evacuados.

Para medir la temperatura de escape se colocó una termocupla en el colector de escape de cada uno de los vehículos.

La termocupla utilizada fue de tipo K (Ni-Cr, Ni-Al) con un diámetro de 2 mm, en vaina de acero inoxidable. El instrumento encargado de proporcionar la información de la temperatura existente fue un pirómetro digital.

Con el objeto de determinar la masa de gases evacuados por el escape, se procedió a medir la cantidad de aire admitida por el motor y adicionarle la masa de combustible ingresado.

La medición del caudal másico de aire se llevó a cabo mediante una brida calibrada y su correspondiente recipiente amortiguador de pulsaciones en la admisión de aire del motor.

Se utilizaron dos diámetros de bridas distintos (25 mm y 38 mm) según el tipo de motor y el régimen al que fue sometido, con el fin de lograr la mayor sensibilidad del método de medición y minimizar los errores.

El caudal de combustible ingresado al motor se determinó por medios analíticos en base a los restantes parámetros de funcionamiento, y se corroboró en el caso del Renault 21 NEVADA, con lo indicado en el ordenador de a bordo.

Con los datos de temperatura y caudal de gases se procedió al cálculo de la cantidad de calor por medio de la siguiente expresión:

$$Q = M_g C_p (T_e - T_c)$$

$M_g$  = masa de los gases

$C_p$  = calor específico de los gases de escape a presión constante. (Valor medio calculado)

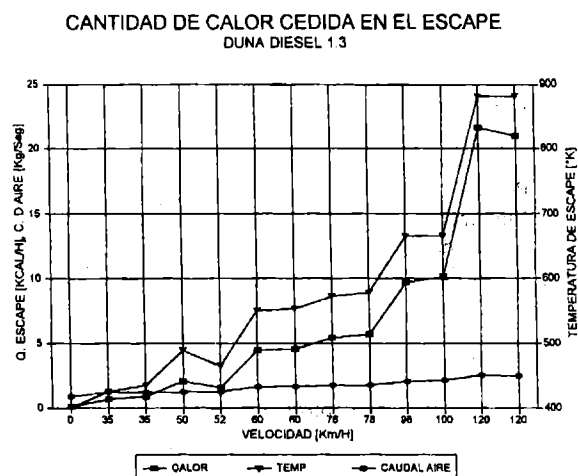
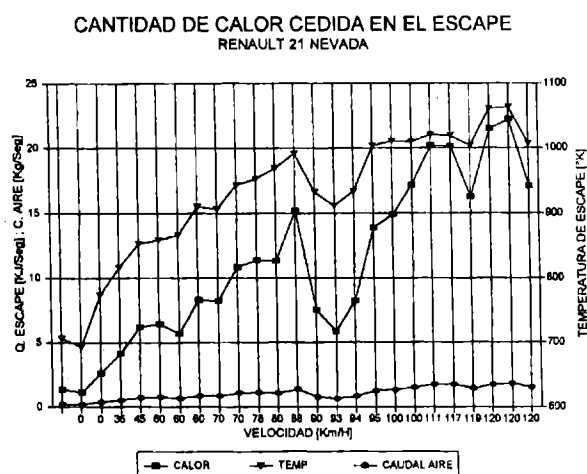
$T_e$  = temperatura en el escape

$T_c$  = temperatura presunta a la salida del intercambiador del ciclo frigorífico.

El calor específico de los gases a presión constante se calculó mediante la composición gravimétrica teórica de los gases de escape a partir del combustible utilizado, obteniéndose un valor del  $C_p$  para el motor a nafta de 1,088 KJ/Kg°K y para el Diesel 1,046 KJ/Kg°K

## RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en los gráficos N° 1 y N° 2, que se adjuntan.



Los datos de velocidades que aparecen duplicados se deben a la posibilidad de transitar a esa velocidad en distintas tomas de la caja de velocidades.

### NECESIDADES DE REFRIGERACION EN LOS AUTOMOVILES

Las necesidades de acondicionamiento del vehículo se encuentran regidas de manera preponderante por la gran superficie vidriada y de chapa de acero expuesta a la acción directa del sol de verano.

La presencia del motor con su correspondiente cesión de calor al medio circundante, con una rápida circulación de aire exterior, hace que el sistema de refrigeración tenga que poseer una capacidad considerable en comparación con el volumen del habitáculo.

En caso de haberse encontrado el vehículo largo tiempo expuesto a la acción del sol, sin acondicionamiento, se requiere rápida intervención del sistema de refrigeración, para ello se hace necesario disponer de equipos de gran capacidad y baja inercia para su puesta en régimen. (Vrinat 1993, Ollier 1993)

La potencia necesaria según los distintos autores y fabricantes oscila entre 4 KJ/seg. y 7 KJ/Seg. de acuerdo al tamaño del habitáculo, confort, precio de venta, prestaciones, etc. (Adler 1987).

Se seleccionó en función de las características particulares de cada uno de los vehículos ensayados, los siguientes valores: para el Fiat Duna 4 KJ/Seg., y para el Renault 21 Nevada 6 KJ/Seg.

También se requiere de un sistema de refrigeración por absorción, compatible con los reducidos espacios disponibles dentro de un automóvil y además con la capacidad de entrar en régimen en tiempos aceptables con los requerimientos del sistema.

Para una implementación de este tipo se deberá seleccionar un sistema con componentes de tamaño reducido, lo que implica una menor masa con bajo tiempo de puesta en régimen. Para ello se creyó conveniente utilizar un sistema de simple etapa de bromuro de litio - agua, en desmedro de su rendimiento frente a sistemas mas elaborados.

Los rendimientos (C.O.P.) alcanzados se encuentran entre 0.5 a 0.7. En este trabajo utilizaremos 0.6 por tratarse de equipos con limitaciones de tamaño, temperatura máxima y con aportes de calor discontinuos. (Alefeld 1991, Jeng 1989, Ziegler 1993, Perez-Blanco 1992)

Al intercambiador de calor utilizado como generador del ciclo se le adjudicó un rendimiento de 0,8. Este rendimiento se ve afectado durante el uso por el ensuciamiento propio de equipos que trabajan con gases de escape de motores de combustión interna sometidos a cargas variables, como en el caso de un automóvil.

### POSIBILIDAD DE IMPLEMENTACION

Los valores de calor necesarios resultan en cada caso de afectar a las necesidades de calor por los rendimientos del ciclo frigorífico y del intercambiador.

FIAT DUNA SD 1.3      8,33 KJ/Seg.  
RENAULT 21 NEVADA   12,5 KJ/Seg.

Del análisis de los requerimientos de calor del ciclo y del gráfico de disponibilidad del mismo en función de la velocidad se destaca que las necesidades de acondicionamiento del interior del vehículo se verán satisfechas para estados de carga del motor que se alcanzan a velocidades superiores a 95 Km/H en el Renault 21 Nevada y 90 Km/H en el Duna Diesel 1300.

### Nota Técnica

Estos valores son los requeridos para obtener la máxima potencia frigorífica necesaria para lograr el acondicionamiento del habitáculo en condiciones extremas.

## CONCLUSIONES

Podemos destacar que las necesidades de acondicionamiento del interior del vehículo, para obtener la máxima potencia frigorífica requerida para lograr el acondicionamiento del habitáculo en condiciones extremas, se verán satisfechas para estados de carga del motor que se alcanzan a velocidades superiores a 95 Km./H en el Renault 21 Nevada y 90 Km./H en el Duna Diesel 1300.

Las necesidades de acondicionamiento del interior del vehículo no se verán satisfechas en el tránsito normal de ciudad en el caso de los vehículos sometidos a ensayo. Esto es compatible con resultados obtenidos por diversos autores. (Alhusein 1993).

Es de destacar que considerando ciclos de absorción más elaborados se obtendrían resultados más favorables, no debiendo descuidar las limitaciones expuestas en cuanto a espacio físico disponible dentro del vehículo, tiempo de repuesta del equipo y nivel respecto al horizontal que se ve sometido durante la marcha.

Si las sollicitaciones externas no son en extremo severas concluimos que el sistema es viable, pero presenta limitaciones para velocidades de marcha reducidas.

Queda abierta la posibilidad de estudiar la implementación en motores estacionarios, donde las limitaciones de espacio, la variación del estado de carga e inconvenientes ocasionados por el movimiento pasan a un segundo plano.

## REFERENCIAS

- Adler U., BOSCH, 1987, "Manual de la técnica del automóvil", Ed. Reverte.
- Alefeld G, Kern W. et al, 1991, "Advanced Absorption Cycles For Enviromental Protection", XVIII Congres Internacional Du Froid, Montreal 1991, Paper N° 176.
- Alhusein, A. Inayatullah. G., 1993, "Systeme a absorption pour climatiseur d'automobile fonctionant avec la chaleur d'echappement", Rev. Gen Froid, mars 1993, pp 28-29.
- Giacosa, D., 1988, "Motori endotermici", Ed. Hoepli.
- Jeng, C. Y., 1989, "A Simple Analysis on the Perfomance of Absorption Heat Pump System", Intersoc. Energy Conversion. 1989, 24(4): pp 2111-2116.
- Kite, W. H. Jr. and Dickey, J. R., 1984, "Exxon Research and Engineering Co. U.S.A".
- Ollier, C., 1993, "La climatisation des voitures et vehicules industriels", Rev. Gen Froid, mars 1993, pp 27-28
- Perez-Blanco H., 1992, "Conceptual design of a high-efficiency absorption cooling cycle", Rev Int. Froid Vol 16 N° 6 pp 429-433, 1993.
- Picard P., 1992, "Les systemes a absorption. Journees Francaises du froid 1992", Revue Generale du Froid. Jouil. aout 1993, pp 50-53.
- Vrinat, G., 1993, "La climatisation des vehicules, Systemes Potentiels", Revue Generale du Froid, mars 1993, pp 24-27.
- Ziegler, F. and Riesch, 1992, "Absorption Cycles. A Review with Regard to Energetic Efficiency", Heat Recovery systems, vol 13 N° 2 pp 147 - 159, 1993.